

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-236338

(43)Date of publication of application : 31.08.2001

(51)Int.CI. G06F 15/18  
G05B 13/02

(21)Application number : 2000-047052 (71)Applicant : KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 24.02.2000 (72)Inventor : NISHINO MIYAKO

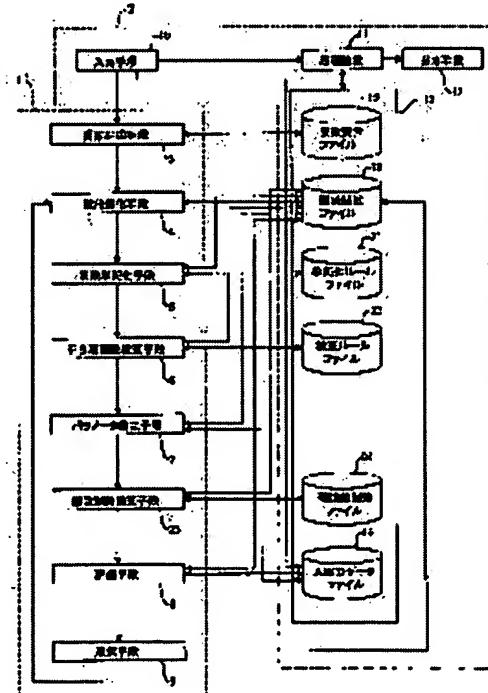
MAEDA YASUSHI  
WATANABE TOSHIHIKO  
KITAMURA AKIRA  
OE KENICHI  
MORIMOTO SADAO  
FUJIMOTO MASAO

## (54) DEVICE AND METHOD FOR SEARCHING FOR RELEVANT FUNCTION

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem that a precise relevant function can not be obtained by a conventional relevant function searching device and its method, which represent the relation between input data and output data as various functions and search for the function matching the input data and output data most among those functions according to genetic algorithm, if the given data are small or include disturbance or noise.

**SOLUTION:** For the purpose, the degree of satisfaction of restrictions previously given as to some relation function among plural relevant functions is inspected when the relevant function is selected according to the adaptivity to input/output data.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.04.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] As opposed to the functional element for describing the related function showing the relation between I / O datas, and a part or all of a parameter A generation evolution means to perform hereditary actuation and to generate a next-generation related function from said related function, A parameter estimation means to presume the optimum value of said parameter about the related function of said next generation generated by said generation evolution means, An evaluation means to evaluate the fitness to said I / O data of the related function of said next generation the optimum value of said parameter was presumed to be by said parameter estimation means, It is related function retrieval equipment which comes to provide from from a selection means to choose some related functions based on said fitness among the related functions of two or more of said next generation evaluated by said evaluation means. With said parameter estimation means About the related function of said next generation with which the optimum value of said parameter was presumed, it is related with said related function. Related function retrieval equipment with which it has a function constraint inspection means to inspect the satisfaction level to the constraint given beforehand, and said selection means comes to choose said related function based on said fitness and said satisfaction level inspected by said function constraint inspection means.

[Claim 2] Related function retrieval equipment according to claim 1 which is theoretical constraint according to the physical model with which said constraint was beforehand given about said related function.

[Claim 3] Related function retrieval equipment according to claim 1 or 2 which comes to optimize the parameter by which expresses by the linear combination of the function subset with which said related function combined the variable corresponding to said input data for the variable corresponding to said output data, and said functional element, and said evaluation means multiplies each function subset.

[Claim 4] As opposed to the functional element for describing the related function showing the relation between I / O datas, and a part or all of a parameter Hereditary actuation A next-generation related function from a deed and said related function About the procedure to generate and the related function of said next generation among the procedure of presuming the optimum value of said parameter, the procedure of evaluating the fitness to said I / O data of the related function of said next generation with which the optimum value of said parameter was presumed, and the related function of two or more of said next generation [ from ] It is related with said related function about the related function of said next generation with which it is the related function retrieval approach using the computer which repeats the procedure which chooses some related functions based on said fitness, and obtains the optimal related function, and the optimum value of said parameter was presumed. The related function retrieval approach of performing the selection based on said fitness and said satisfaction level in case the satisfaction level to the constraint given beforehand is inspected and some related functions are chosen from from among the related functions of two or more of said next generation.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Field of the Invention] This invention expresses the relation between input data and output data with various functions, and relates to the related function retrieval equipment which searches for the function which was most adapted for said input data and output data from among these functions, and its approach according to a genetic algorithm.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] For example, various functions express the relation between input data and output data to JP,9-44466,A, and the related function retrieval equipment which searches for the function which was most adapted for said input data and output data (I / O data) from among these functions, and its approach are indicated according to the genetic algorithm. The related function retrieval equipment applied to said official report as indicated by said official report, and its approach are John Koza of Stanford University. It is the technique which improved the technique advocated by the professor. Above Koza As opposed to the set of a related function whose technique by the professor expresses the relation between I / O datas Exchange some elements of said related function, or (Decussation), By repeating the procedure which performs hereditary actuation (mutation) of throwing in a new element, generates the set of a next-generation related function, and chooses the high related function of evaluation among the sets of the related function of the generated next generation The set of said related function is evolved and, finally the related function which was most adapted for the I / O data is obtained. Above Koza The relation between the obtained I / O datas can be grasped in the technique by the professor from the outside, and there is an advantage that it is not necessary to fix beforehand the function which gives the relation between I / O datas like identification by linear regression or non-linear regression in it. Here, said related function is described to the variable corresponding to input data and output data combining parameters, such as a function (functional element) used as elements, such as four operations, an exponential function, a logarithmic function, and a trigonometric function, a multiplier by which these functional elements are multiplied, and a constant to apply. Above Koza By the technique by the professor, all the elements used for describing said related function are made into the object of hereditary actuation of decussation, mutation, etc. Not only the existence of a parameter but its numeric value is included in the object of hereditary actuation. Since there is alternative of the numeric value of a parameter almost innumerably, count of most amount is needed for making it converge. On the other hand, by the related function retrieval equipment concerning said official report, and its approach, the numeric value of a parameter is removed from the object of said hereditary actuation. About the numeric value of a parameter, after said hereditary actuation is performed, it is set by performing optimization count of each relation function to said I / O data.

[0003] Here, the example of an outline configuration and the flow of processing of the related function retrieval equipment applied to said official report at drawing 4 are shown. The related function retrieval equipment 1 concerning said official report is used combining an information processor 2, and possesses

the function generation means 3, the generation evolution means 4, the function simplification means 5, the contradiction function inspection means 6, the parameter estimation means 7, the evaluation means 8, and the selection means 9. Moreover, an information processor 2 possesses the input means 10, a processor 11, the output means 12, and the storage means 13, for example, is materialized as a common computer. When the related function retrieval equipment 1 concerning said official report is explained more concretely, the target input data and output data are stored in the I/O data file 14 of the storage means 13 using the input means 10 of an information processor 2. The function generation means 3 of said related function retrieval equipment 1 generates two or more related functions showing the relation of the input data and the output data which were stored in the I/O data file 14. Said related function consists of the variable corresponding to a I / O data, a functional element, and a parameter as it was mentioned already. Two or more storing of the functional element is carried out at the functional-element file 15 of the storage means 13. The function generation means 3 is arranged combining at random the functional element read from the functional-element file 15, and a variable and a parameter. for example, -- supposing the variables corresponding to input data are X1 and X2 and the variable corresponding to output data is Y -- a functional element (cos), (+), and (\*) Said related function is expressed like  $Y=aX_1+b\cos(X_2)$  and  $Y=\text{acos}(bX_1)+X_2$  using Parameters a and b. The related function generated by the function generation means 3 is stored in the related function file 16 of the storage means 13. The generation evolution means 4 generates a next-generation related function to said related function read from the related function file 16 from said related function which performed and read hereditary actuation of decussation, mutation, evolution out of balance, etc.

[0004] Reading the related function of the next generation generated by the generation evolution means 4 from the related function file 16, and referring to the simplification Ruhr file 21, if the function simplification means 5 does not take the numeric value of a parameter into consideration, it rewrites the related function of said next generation in the function which becomes synonymous. For example, suppose that a part called  $X(a+b)$  1 is contained in said related function. When not taking the numeric value of a parameter into consideration,  $X(a+b)$  1 is synonymous with  $cX_1$  which used one parameter c. In this case, the function simplification means 5 rewrites  $X(a+b)$  one to  $cX_1$ , and is simplified. The contents of rewriting are recorded on the related function file 16. About the related function of the next generation simplified by the function simplification means 5, referring to the inspection Ruhr file 22, the contradiction function inspection means 6 sorts out a related function irrational as a formula, and eliminates it from the related function file 16. The parameter estimation means 7 presumes the optimum value of said parameter about the related function of the next generation rational as a formula left behind to the related function file 16. For example, when calculating the optimum value of a parameter by linear-regression count, a value from which total of a square error with said I / O data serves as min will be calculated as a numeric value of a parameter. The numeric value of the called-for parameter is recorded on the related function file 16. When the numeric value of a parameter is recorded on the related function file 16 by the parameter estimation means 7, two or more storing of the most important related function will be carried out respectively at the related function file 16. The evaluation means 8 evaluates the fitness to the I / O data of these relation function. Total of a square error with each I / O data, the inverse number of the weight sum, etc. are used for fitness. The called-for fitness is matched with each relation function, and is recorded on the related function file 16. It is the selection as used in the field of a living thing which the selection means 9 performs. The selection means 9 chooses some related functions from from based on said fitness among the related functions of the next generation stored in the related function file 16. For example, a fixed number of related functions are chosen from the high related function of fitness as order, or the probability proportional to fitness is assigned and extracted in each relation function. The related function chosen by the selection means 9 is supplied to the generation evolution means 4 through the related function file 16, and processing from processing by the generation evolution means 4 mentioned above to processing by the selection means 9 is repeated. The related function which the generation of said related function took for progressing, and was adapted with the given I / O data is called for, and, finally a related function with a required precision is acquired.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Said related function called for by the related function retrieval equipment concerning said official report and its approach expresses the relation between I / O datas within the limits of the given data with a sufficient precision. However, said related function called for by the related function retrieval equipment concerning said official report and its approach guarantees the precision even neither about a field with little data, nor the field of the given data out of range. Moreover, if disturbance and a noise are mixed in the given data, said related function will be adapted also to them. For this reason, change of disturbance and the condition of a noise will reduce the precision of said related function sharply. For example, suppose that the I / O data as shown in drawing 5 (a) is obtained. Although disturbance and a noise are contained in this I / O data, both have the relation of the increment in monotone as originally shown in drawing 5 (b). A related function as shown in drawing 5 (c) which corresponded with a sufficient precision to this I / O data is obtained by the related function retrieval equipment applied to said official report about this I / O data, and its approach. In the example of drawing 5, the relation between I / O datas will shift from the actual condition greatly in the field of the data divided and given out of range. Thus, the related function retrieval equipment concerning said official report and its approach tend to be influenced by the quality and the amount of data which were given, and if they are not enough, even if it predicts output data from input data using said related function, as for a forecast, only the part will differ from an actual value. By the way, it is also possible to predict output data from input data about the relation between said I / O datas, using the theoretical model, when the theoretical model is known beforehand. However, even if it is satisfactory qualitatively, many things inferior to a quantitative precision exist in said theoretical model. When actually using the theoretical model inferior to a quantitative precision, it may only be insufficient to optimize a parameter and the alteration of adding a correction term may be needed. Although it is based on experience etc. and it will be chosen whether it is a gap since much alternative exists about an alteration, it is difficult in a needed precision stability and to obtain efficiently. In order that this invention may solve the technical problem in such a Prior art, related function retrieval equipment and its approach are improved. The relation between I / O datas with various functions By expressing, and taking into consideration the theoretical constraint and the qualitative constraint which were given beforehand, in case the function which was most adapted for the I / O data from among these functions is obtained according to a genetic algorithm It aims at offering stability, the related function retrieval equipment which can be obtained efficiently, and its approach for an accurate function that it cannot be easily influenced by the quality or the amount of data.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, invention concerning claim 1 As opposed to the functional element for describing the related function showing the relation between I / O datas, and a part or all of a parameter A generation evolution means to perform hereditary actuation and to generate a next-generation related function from said related function, A parameter estimation means to presume the optimum value of said parameter about the related function of said next generation generated by said generation evolution means, An evaluation means to evaluate the fitness to said I / O data of the related function of said next generation the optimum value of said parameter was presumed to be by said parameter estimation means, It is related function retrieval equipment which comes to provide from from a selection means to choose some related functions based on said fitness among the related functions of two or more of said next generation evaluated by said evaluation means. With said parameter estimation means About the related function of said next generation with which the optimum value of said parameter was presumed, it is related with said related function. It has a function constraint inspection means to inspect the satisfaction level to the constraint given beforehand, and said selection means is constituted as related function retrieval equipment which comes to choose said related function based on said fitness and said satisfaction level inspected by said function constraint inspection means. Moreover, invention concerning claim 2 makes it the summary to be theoretical constraint according to the physical model with which said constraint was beforehand given about said related function in said related function retrieval equipment according to claim 1. Moreover, in said related

function retrieval equipment according to claim 1 or 2, the linear combination of the function subset with which said related function combined the variable corresponding to said input data for the variable corresponding to said output data and said functional element expresses invention concerning claim 3, and said evaluation means makes it the summary to come to optimize the parameter by which each function subset is multiplied. Moreover, invention concerning claim 4 receives the functional element for describing the related function showing the relation between I / O datas, and a part or all of a parameter. Hereditary actuation A next-generation related function from a deed and said related function About the procedure to generate and the related function of said next generation among the procedure of presuming the optimum value of said parameter, the procedure of evaluating the fitness to said I / O data of the related function of said next generation with which the optimum value of said parameter was presumed, and the related function of two or more of said next generation [ from ] It is related with said related function about the related function of said next generation with which it is the related function retrieval approach using the computer which repeats the procedure which chooses some related functions based on said fitness, and obtains the optimal related function, and the optimum value of said parameter was presumed. In case the satisfaction level to the constraint given beforehand is inspected and some related functions are chosen from among the related functions of two or more of said next generation, it is the related function retrieval approach of performing the selection based on said fitness and said satisfaction level. In case the related function which expresses the relation between I / O datas with the related function retrieval equipment of a publication or its approach to any 1 term of said claims 1-4 is chosen so that it may be adapted for a I / O data, the theoretical constraint given beforehand and the qualitative constraint obtained experientially are taken into consideration. In case said related function is generated, the versatility is not restricted, but if there is an irrational place in a physical property etc., the related function will be screened in the case of selection. The related function finally obtained becomes a thing according to said constraint which it is accurate for and cannot be easily influenced by the quality or the amount of data. Furthermore, the variable corresponding to said output data of said related function is expressed with said related function retrieval equipment according to claim 3 by the linear combination of the function subset which combined the variable corresponding to said input data, and said functional element. Since a parameter is not contained in said function subset, said evaluation means does not need to solve the optimization problem of a nonlinear function to the parameter by which said function subset is multiplied. Moreover, the versatility of said related function can be secured with the versatility of said function subset. For this reason, the time amount taken to optimize said parameter can be shortened, without making the versatility and nonlinearity of said related function lose.

[0007]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, with reference to an accompanying drawing, it explains per gestalt of operation of this invention. Drawing 1 is drawing showing the outline configuration and the flow of processing of the related function retrieval equipment concerning the gestalt of operation of this invention. Related function retrieval equipment 1' concerning the gestalt of operation of this invention is the same as that of equipment conventionally at the point of it being used combining the information processor 2 which consists of the input means 10, a processor 11, an output means 12, and a storage means 13, and providing the function generation means 3, the generation evolution means 4, a function simplification means 5, a contradiction function inspection means 6, a parameter-estimation means 7, an evaluation means 8, and a selection means 9 as shown in drawing 1. Below, as long as there is no need about the contents which are conventionally common to equipment 1, the publication is omitted, and difference with the conventional equipment 1 of related function retrieval equipment 1' is explained.

Related function retrieval equipment 1' concerning the gestalt of operation of this invention searches for the relation between deformation resistance  $k$ , and the close side plate thickness  $H$ , the appearance side plate thickness  $h$ , the absolute temperature  $T$  of a plate and the work roll radius  $R$  in thick plate rolling. In said related function retrieval equipment 1', deformation resistance  $k$  is used for the variable corresponding to the output data of the related function which the function generation means 3 generates, and  $\exp(1/T)$ ,  $R/h$ , and four variables of  $r$  and  $H$  are used for the variable corresponding to

input data. the functional element which describes said related function to each variable -- for example, (-1) The nine functional elements (root), ( $\ln$ ), ( $\exp$ ), ( $/$ ), ( $*$ ), ( $-$ ), ( $+$ ), and (1) are used. These functional elements are beforehand stored in the functional-element file 15. Like the function generation means 3 of equipment before, the function generation means 3 concerning the gestalt of operation of this invention only arranges the variable corresponding to each input data, said functional element, and a parameter at random, and does not generate said related function.

[0008] The related function which the function generation means 3 generates is described by the linear combination of the function subset which combined the variable and functional element corresponding to input data. For example, supposing said related function is described by the linear combination of said five function subsets ex1, ex2, --, ex5, when a parameter is expressed by a1, a2, --, a6, the related function which the function generation means 3 generates becomes as a degree type (1).

$$k=a1*ex1+a2*ex2+a3*ex3+a4*ex4+a5*ex5+a6 \quad (1)$$

The function generation means 3 defines the combination of the number of said function subsets, the variable corresponding to said input data in each function subset, and said functional element at random, for example, and generates two or more said related functions. The number of said function subsets is defined beforehand, and you may make it define only the combination of the variable corresponding to said input data in each function subset, and said functional element at random. The generation evolution means 4 performs hereditary actuation of decussation, mutation, etc. only about the inside of each function subset of each relation function, respectively so that the structure of said related function expressed by the linear combination of said related subset may not be changed. Of course, even if it performs actuation which fluctuates the number of said function subsets or makes a functional element cross within each function subset, the structure of said related function does not change. Although the component of said related function will be symbolized in order to perform hereditary actuation, a formula like an upper type (1) can be transposed to a symbol string by making the variable and functional element corresponding to output data into a node, for example, and expressing these by the Polish notation. If the function simplification means 5 does not take the numeric value of a parameter into consideration, when there is a function which becomes synonymous conventionally like the thing of equipment 1, it simplifies said related function to it. In this equipment 1', since the structure of said related function is restricted to the linear combination of said function subset, a typical example is performing actuation which transposes these to one function subset, when two or more same function subsets exist among the function subsets which constitute said related function, for example. The parameter estimation means 7 reads a data constellation from the I/O data file 14, defines each variable, and calculates each parameters a1 and a2 and the optimum value of --. The linear combination of said function subset expresses said related function for mitigating a load in the case of this optimization count. If said functional element and parameter are arranged at random and said related function is generated, the parameter which should be optimized in a nonlinear function may be contained. In this case, in order to define a parameter, a nonlinear optimization problem must be solved and there is a possibility that optimum-value count of a parameter may take huge time amount. What is necessary is just to perform optimization count of a linear function about a parameter, though nonlinearity will be given to said related function, if the linear combination of said function subset expresses said related function as mentioned above. Moreover, the versatility of said related function is secured with the versatility of each function subset. Consequently, it can prevent that the time amount which optimum-value count of a parameter takes increases remarkably, without making the versatility and nonlinearity of said related function lose.

[0009] It inspects whether the function constraint inspection means 23 has satisfied the constraint to which each relation function with which the numeric value of a parameter was defined in this way was beforehand given to said related function. Said constraint concerning the gestalt of this operation is theoretical constraint based on the physical model of the degree type for example, about the deformation resistance k. It is known that deformation resistance k can be expressed as a degree type using the close side plate thickness H, the appearance side plate thickness h, and the absolute temperature T of a plate.  $k=\exp(A1/(T+273)+A2) * (\ln(H/h)) A3*h A4$  however A1 and A2, A3, and A4 are multipliers. From

the physical model about said deformation resistance k, theoretical constraint that the rate of change of deformation resistance becomes small" is defined as convex or distortion becomes [ change of deformation resistance ] large to change of "distortion about the deformation resistance k in the band of temperature data and distortion epsilon=ln (H/h) to be used. If this theoretical constraint is too strong, said related function will be restricted to a physical model. It is desirable to give minimum constraint of extent which can remove an irrational related function theoretically. Said theoretical constraint is stored in the theoretical constraint file 24, and is read by the function constraint inspection means 23 at the time of the need. The function constraint inspection means 23 fixes the close side plate thickness H, the absolute temperature T of a plate, and the roll radius R to constant value among the variables of for example, each relation function, changes the appearance side plate thickness h by predetermined unit width of face from a upper limit to a lower limit, and inspects whether theoretical constraint which each relation function mentioned above is satisfied. When constraint with said theoretical related function is not satisfied, a fixed penalty which decreases the fitness which the evaluation means 8 evaluates is matched with the related function concerned by the function constraint inspection means 23. On the other hand, when constraint with said theoretical related function is satisfied, said penalty is not imposed, namely, a penalty 0 is matched. Said penalty is an example of the satisfaction level in this invention. What is necessary is for said satisfaction level just to raise relatively evaluation of the related function with which are satisfied of said theoretical constraint to the related function with which are not satisfied of said theoretical constraint, although size relation of said satisfaction level [ penalty and said satisfaction level ] does not correspond. For example, only said related function with which are satisfied of said theoretical constraint may be made to carry out the increment in a constant rate of the fitness. Moreover, although said satisfaction level will take two different values according to whether said theoretical constraint is satisfied in these cases, two or more theoretical constraint is imposed, for example, and you may make it define said satisfaction level of a multiple value according to the number of the constraint to satisfy. About the related function with which said penalty was matched, whenever [ said evaluation / which was called for by the evaluation means 8 ] is decreased by the penalty. The selection means 9 chooses a fixed number of related functions from a thing with said high fitness as order based on the fitness of said related function with which a part for a penalty was added. For this reason, possibility that said related function with which are not satisfied of said theoretical constraint will be screened becomes large. Only said related function chosen by the selection means 9 is read by the generation evolution means 4, and a series of processings from processing to processing by the selection means 9 are henceforth repeated by the generation evolution means 4. When the fitness of said related function becomes more than constant value, it may be made to end, and this repeat may be terminated when it becomes the count appointed beforehand. What is necessary is just to set up the number of the count of a repeat, and said related functions when generating said related function, the probability of said hereditary actuation, etc., in case for example, the aforementioned I / O data is inputted.

[0010] Said related function finally obtained became as for example, the degree type (2) by repeating such processing.

[Equation 1]

$$k=a1*ex1 + a2*ex2 + a3*ex3 + a4*ex4 + a5*ex5 + a6$$

$$ex1 = \ln \left( \exp \left( \exp \left( \frac{1}{T} \right) \right) - r \right)$$

$$ex2 = \ln \left( \frac{H}{\sqrt{\exp \left( \frac{1}{T} \right)}} \right)$$

$$ex3 = \ln \left( \ln \left( \sqrt{\exp \left( \frac{1}{T} \right)} \right) \right)$$

$$ex4 = \ln \left( \ln \left( \frac{\exp \left( \frac{1}{T} \right)}{r} \right) - r + 1 \right)$$

$$ex5 = \ln \left( \ln \left( \frac{H+r}{\exp \left( \frac{1}{T} \right)} \right) \right)$$

(2)

On the other hand, the same I / O data and said related function for which it was conventionally searched by equipment 1 about the functional element became as the degree type (3).

[Equation 2]

$$k=a1*ex1 + a2*ex2 + a3*ex3 + a4*ex4 + a5*ex5 + a6$$

$$ex1 = \ln \left( \sqrt{\ln \left( \exp(H-1) + \exp \left( \frac{1}{T} \right) \right)} \right)$$

$$ex2 = \frac{1}{T}$$

$$ex3 = \ln \left( \frac{H \cdot R}{h} + 1 + H - r \right)$$

$$ex4 = \ln(1-r)$$

$$ex5 = \ln(r)$$

(3)

Here, when the theoretical model with which it was expressed by the upper type (1) is used (P1) and it is conventionally based on equipment 1 (P2), the size of the standard deviation (precision) of the true value/forecast in the case (P3) of being based on this equipment 1' is compared, and it is shown in drawing 2. It is inaccurate, when being based on conventional equipment 1 as shown in drawing 2 (P2), and when being based on a theoretical model compared with the case (P3) where it is based on this equipment 1' (P1). Although it is [ in the case (P3) of being based on this equipment 1' by the case (P3) where it is based on the case (P2) where it is conventionally based on equipment 1, and this equipment 1' ] more accurate, compared with the case (P1) where it is based on a theoretical model, the difference is small. However, if output data are predicted from input data using the data of a different band from the I / O data used for asking for said related function when said related function is conventionally

defined with equipment 1, the prediction will differ from an actual value greatly. In the example shown in drawing 3 , when rolling reduction  $r=(H-h)/H$  is in 0.1-0.4, the deformation resistance k conventionally calculated by equipment 1 is a realistic value, but if rolling reduction r is set to 0.5, it will become an unreal remarkable high value. On the other hand, the deformation resistance k calculated by this equipment 1' serves as a value which \*\*(ed) for the implementation elephant, even if rolling reduction r is set to 0.5.

[0011] Thus, since it is judged whether theoretical constraint satisfies and the fitness of said related function is changed according to it in case the related function showing the relation between I / O datas chooses according to the related function retrieval equipment concerning the gestalt of operation of this invention, and its approach so that it is adapted for a I / O data, it becomes that stability and obtain efficiently are possible about a related function good in the precision which followed to the theoretical constraint which cannot be easily influenced by the quality or the amount of data. And since the variable corresponding to said output data of said related function is expressed by the linear combination of the function subset which combined the variable corresponding to said input data, and said functional element, It is not necessary to perform optimization count of a nonlinear function on the occasion of identification of a parameter. The versatility of said related function with the versatility of said function subset The time amount taken to optimize said parameter can be shortened without making the versatility and nonlinearity of said related function lose, since it is secured. In addition, although separate hardware constituted said related function retrieval equipment 1' and information processor 2, it is not restricted to this and you may make it the same hardware constitute said related function retrieval equipment 1' and information processor 2 from the gestalt of said operation. Furthermore, you may make it embody the related function retrieval equipment concerning this invention by computer which executed the program which described the procedure of the related function retrieval approach concerning this invention. Moreover, although the satisfaction level inspected by the function constraint inspection means 23 changed the value of said fitness with the gestalt of said operation, it is not restricted to this and you may make it said fitness evaluated by the evaluation means 8 choose said related function based on said satisfaction level in which the selection means 9 carried out mutually-independent, and said fitness, without changing. Furthermore, with the gestalt of said operation, what is necessary is just made to inspect said related function [ as opposed to / after inspecting with the function constraint inspection means 23 not being restricted to this order and presuming a parameter by the parameter estimation means 7, although the evaluation means 8 estimated before selection of said related function is performed by the selection means 9 / said theoretical constraint ]. Moreover, although decussation and mutation were used, it is not restricted to this and you may make it use other hereditary actuation as said hereditary actuation with the gestalt of said operation. Although a kind of mutation has twin exchange, it may be made to perform such hereditary actuation. Moreover, although it was generating the related function with which it expressed by the linear combination of the function subset which combined the variable and functional element corresponding to input data, the function generation means 3 is not restricted to this, and it arranges a variable, said functional element, and a parameter at random conventionally like equipment 1, for example, you may make it generate said related function with the gestalt of said operation. In this case, although there is a possibility that the operation time may increase from the configuration of the gestalt of said operation in the case of optimization count of a parameter, in order to prevent this, you may carry out making related functions other than the related function expressed with the contradiction function count means 6 by the linear combination of the function subset which combined the variable and functional element corresponding to input data eliminate etc. before optimization count of a parameter. Moreover, although the theoretical constraint beforehand given about the deformation resistance in thick plate rolling was imposed in the function constraint inspection means 23 with the gestalt of said operation It is possible to impose not the thing restricted to this but the qualitative constraint obtained experientially, and for the target event to also apply this invention not only about the physical event in thick plate rolling but about other physical events and chemical events, a still more economical event, etc.

[0012]

[Effect of the Invention] As explained above by the related function retrieval equipment of a publication, or its approach, in any 1 term of said claims 1-4 Since it is judged whether the constraint given beforehand is satisfied and said related function is selected according to it, in case the related function showing the relation between I / O datas is chosen so that it may be adapted for a I / O data, It becomes possible stability and to obtain efficiently about a related function with a sufficient precision according to said constraint which cannot be easily influenced by the quality or the amount of data. and with said related function retrieval equipment according to claim 3 Since the variable corresponding to said output data of said related function is expressed by the linear combination of the function subset which combined the variable corresponding to said input data, and said functional element, It is not necessary to perform optimization count of a nonlinear function on the occasion of identification of a parameter. The versatility of said related function with the versatility of said function subset The time amount taken to optimize said parameter can be shortened without making the versatility and nonlinearity of said related function lose, since it is secured.

---

[Translation done.]

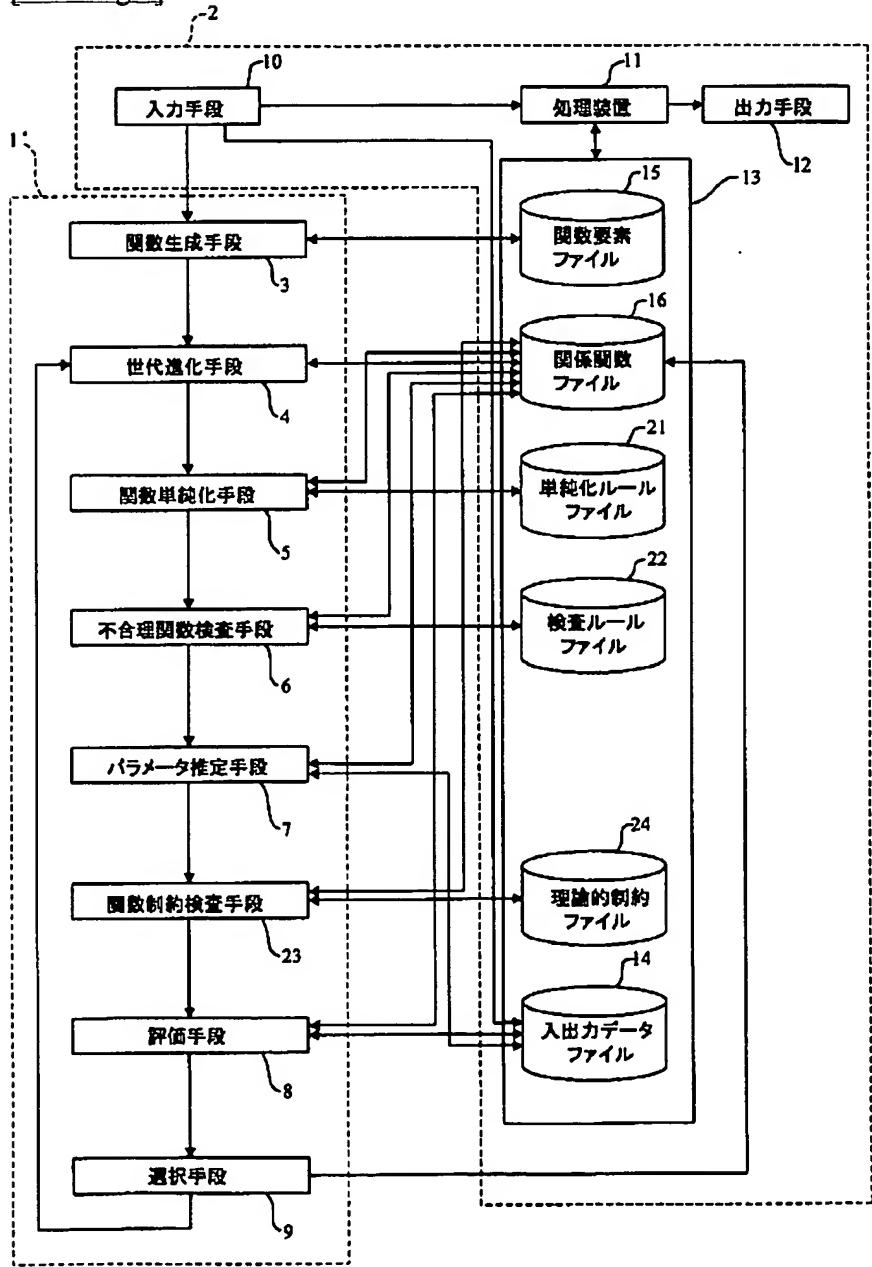
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

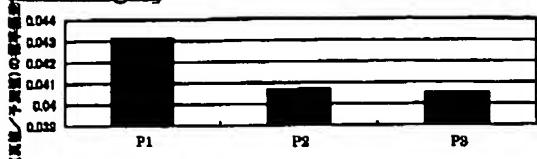
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

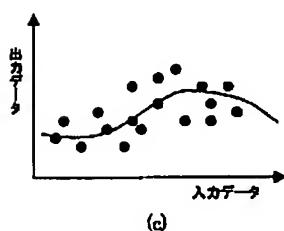
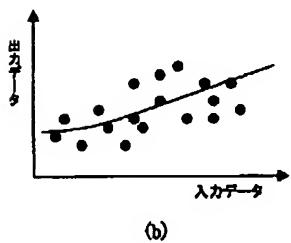
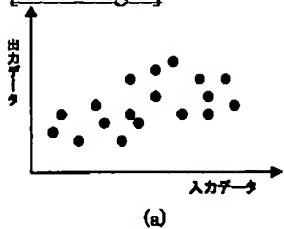
[Drawing 1]



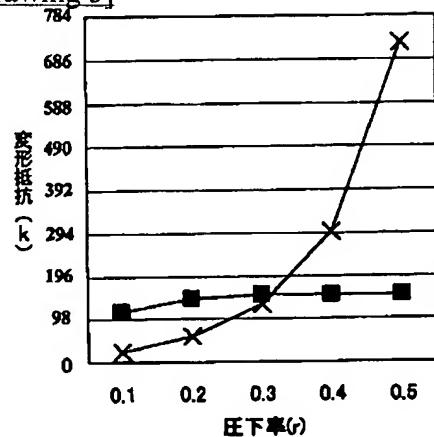
[Drawing 2]



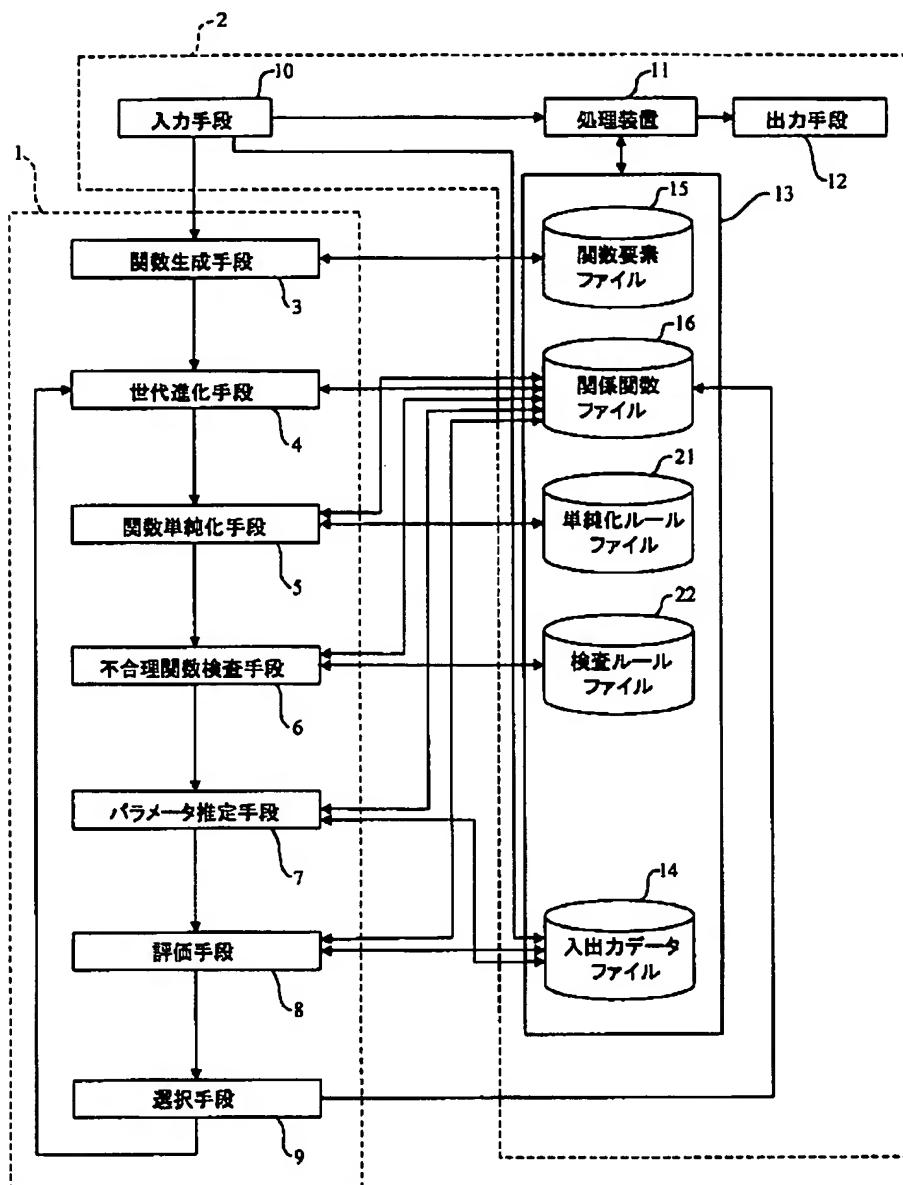
[Drawing 5]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-236338

(P2001-236338A)

(43)公開日 平成13年8月31日(2001.8.31)

(51) Int.Cl.  
G 06 F 15/18  
G 05 B 13/02

識別記号  
550

F I  
G 06 F 15/18  
G 05 B 13/02

テーマコード(参考)  
550 C 5H004  
K 9A001

## 審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全10頁)

(21)出願番号 特願2000-47052(P2000-47052)

(22)出願日 平成12年2月24日(2000.2.24)

(71)出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号

(72)発明者 西野 都

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 前田 恭志

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74)代理人 100084135

弁理士 本庄 武男

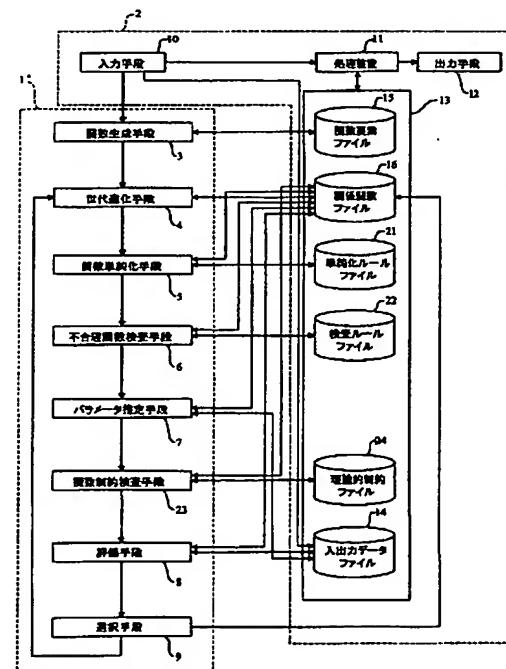
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】 関係関数探索装置及びその方法

## (57)【要約】

【課題】 入力データと出力データとの間の関係を多様な関数によって表し、遺伝的アルゴリズムに従って、これらの関数のうちから前記入力データ及び出力データに最も適応した関数を探索する従来の関係関数探索装置及びその方法では、与えられたデータが少なかったりデータに外乱やノイズが混入していると、精度の良い関係関数を得ることができなかった。

【解決手段】 本発明は、複数の前記関係関数のうちから、入出力データに対する適応度に基づいて一部の関係関数を選択する際に、前記関係関数に関して予め与えられた制約に対する満足度を検査することにより、前記課題を解決することを図ったものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入出力データ間の関係を表す関係関数を記述するための関数要素及びパラメータの一部又は全部に対して、遺伝的操作を行い、前記関係関数から次世代の関係関数を生成する世代進化手段と、前記世代進化手段により生成された前記次世代の関係関数について、前記パラメータの最適値を推定するパラメータ推定手段と、前記パラメータ推定手段により前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数の前記入出力データに対する適応度を評価する評価手段と、前記評価手段により評価された複数の前記次世代の関係関数のうちから、前記適応度に基づいて一部の関係関数を選択する選択手段とを具備してなる関係関数探索装置であって、前記パラメータ推定手段により前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数について、前記関係関数に関して予め与えられた制約に対する満足度を検査する関数制約検査手段を備え、前記選択手段が、前記適応度と前記関数制約検査手段により検査された前記満足度に基づいて、前記関係関数を選択してなる関係関数探索装置。

【請求項2】 前記制約が前記関係関数に関して予め与えられた物理モデルに従う理論的制約である請求項1に記載の関係関数探索装置。

【請求項3】 前記関係関数が、前記出力データに対応する変数を、前記入力データに対応する変数と前記関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形結合により表したものであり、前記評価手段が、各関数サブセットに乗せられるパラメータを最適化してなる請求項1又は2に記載の関係関数探索装置。

【請求項4】 入出力データ間の関係を表す関係関数を記述するための関数要素及びパラメータの一部又は全部に対して、遺伝的操作を行い、前記関係関数から次世代の関係関数を生成する手順、前記次世代の関係関数について、前記パラメータの最適値を推定する手順、前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数の前記入出力データに対する適応度を評価する手順、複数の前記次世代の関係関数のうちから、前記適応度に基づいて一部の関係関数を選択する手順を繰り返し、最適な関係関数を得るコンピュータを用いた関係関数探索方法であって、前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数について、前記関係関数に関して予め与えられた制約に対する満足度を検査し、複数の前記次世代の関係関数のうちから一部の関係関数を選択する際に、その選択を前記適応度及び前記満足度に基づいて行う関係関数探索方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、入力データと出力データとの間の関係を多様な関数によって表し、遺伝的アルゴリズムに従って、これらの関数のうちから前記入

力データ及び出力データに最も適応した関数を探索する関係関数探索装置及びその方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 例えば特開平9-44466号公報に、入力データと出力データとの間の関係を多様な関数によって表し、遺伝的アルゴリズムに従って、これらの関数のうちから前記入力データ及び出力データ（入出力データ）に最も適応した関数を探索する関係関数探索装置及びその方法が記載されている。前記公報に記載されている通り、前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法は、スタンフォード大学のJohn Koza教授によって提唱された手法を改良した技術である。前記Koza教授による手法は、入出力データ間の関係を表す関係関数の集合に対して、前記関係関数の要素の一部を交換したり（交叉）、新たな要素を投入するなど（突然変異）の遺伝的操作を行って、次世代の関係関数の集合を生成し、生成された次世代の関係関数の集合のうち評価の高い関係関数を選択する手順を繰り返すことによって、前記関係関数の集合を進化させ、入出力データに最も適応した関係関数を最終的に得るものである。前記Koza教授による手法には、得られた入出力データ間の関係を外部から把握することができ、また、線形回帰や非線形回帰による同定のように入出力データ間の関係を与える関数を予め固定しておく必要がないという利点がある。ここで、前記関係関数は、入力データ及び出力データに対応する変数に対して、加減乗除、指数関数、対数関数、三角関数などの要素となる関数（関数要素）と、これら関数要素に乘じる係数や加える定数等のパラメータとを組み合わせて記述される。前記Koza教授による手法では、前記関係関数を記述するのに用いられる全ての要素が、交叉や突然変異などの遺伝的操作の対象にされている。遺伝的操作の対象には、パラメータの有無だけでなく、その数値も含まれる。パラメータの数値の選択肢はほぼ無数にあるから、収束させるのにかなりの量の計算が必要となる。これに対し、前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法では、前記遺伝的操作の対象からパラメータの数値が除かれる。パラメータの数値については、前記遺伝的操作が行われた後、前記入出力データに対して各関係関数の最適化計算を行うことにより定められる。

【0003】 ここで、図4に前記公報に係る関係関数探索装置の概略構成例とその処理の流れを示す。前記公報に係る関係関数探索装置1は、情報処理装置2と組み合わせて使用されるものであって、関数生成手段3と、世代進化手段4と、関数単純化手段5と、不合理関数検査手段6と、パラメータ推定手段7と、評価手段8と、選択手段9とを具備する。また、情報処理装置2は、入力手段10と、処理装置11と、出力手段12と、記憶手段13とを具備する、例えば一般的なコンピュータとして具体化されるものである。前記公報に係る関係関数探索装置1をより具体的に説明すると、対象となる入力デ

ータと出力データは、情報処理装置2の入力手段10を用いて、記憶手段13の入出力データファイル14に格納される。前記関係関数探索装置1の関数生成手段3は、入出力データファイル14に格納された入力データと出力データとの関係を表す関係関数を複数生成する。前記関係関数は、既述した通り、入出力データに対応する変数、関数要素、パラメータからなる。関数要素は、記憶手段13の関数要素ファイル15に複数格納されている。関数生成手段3は、関数要素ファイル15から読み出した関数要素と、変数、パラメータをランダムに組み合わせて配列する。例えば入力データに対応する変数がX1, X2であり、出力データに対応する変数がYであるとすると、関数要素(cos), (+), (\*)、パラメータa, bを用いて、前記関係関数は $Y = aX_1 + b\cos(X_2)$ や、 $Y = a\cos(bX_1) + X_2$ などのように表される。関数生成手段3により生成された関係関数は、記憶手段13の関係関数ファイル16に格納される。世代進化手段4は、関係関数ファイル16から読み出した前記関係関数に対して、交叉、突然変異、不均衡進化などの遺伝的操作を施して、読み出した前記関係関数から次世代の関係関数を生成する。

【0004】関数単純化手段5は、世代進化手段4により生成された次世代の関係関数を関係関数ファイル16から読み出し、単純化ルールファイル21を参照しながら、パラメータの数値を考慮しなければ同義となる関数に前記次世代の関係関数を書き換える。例えば前記関係関数のなかに $(a+b)X_1$ という部分が含まれているとする。パラメータの数値を考慮しないときには、 $(a+b)X_1$ は、一つのパラメータcのみを用いた $cX_1$ と同義である。この場合、関数単純化手段5は、 $(a+b)X_1$ を $cX_1$ に書き換え単純化する。書き換え内容は関係関数ファイル16に記録される。不合理関数検査手段6は、関数単純化手段5により単純化された次世代の関係関数について、検査ルールファイル22を参照しながら、式として不合理な関係関数を選別し、関係関数ファイル16から排除する。パラメータ推定手段7は、関係関数ファイル16に残された式として合理的な次世代の関係関数について、前記パラメータの最適値を推定する。例えば線形回帰計算によりパラメータの最適値を計算する場合には、前記入出力データとの二乗誤差の総和が最小となるような値が、パラメータの数値として求められることになる。求められたパラメータの数値は、関係関数ファイル16に記録される。パラメータ推定手段7によりパラメータの数値が関係関数ファイル16に記録された時点で、関係関数ファイル16には、各々一義的な関係関数が複数格納されていることになる。評価手段8は、それら関係関数の入出力データに対する適応度を評価する。適応度には、各入出力データとの二乗誤差の総和や重み和の逆数などが用いられる。求められた適応度は、各関係関数に対応づけられて関係関

数ファイル16に記録される。選択手段9が行うのは、生物でいうところの淘汰である。選択手段9は、関係関数ファイル16に格納されている次世代の関係関数のうちから、前記適応度に基づいて一部の関係関数を選択する。例えば適応度の高い関係関数から順に一定数の関係関数を選択したり、適応度に比例した確率を各関係関数に割り当てて抽出したりする。選択手段9により選択された関係関数は、関係関数ファイル16を介して、世代進化手段4に供給され、上述した世代進化手段4による処理から選択手段9による処理までの処理が繰り返される。前記関係関数の世代が進むに連れて、与えられた入出力データにより適応した関係関数が求められ、最終的に必要な精度を有した関係関数が取得される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法により求められる前記関係関数は、与えられたデータの範囲内で、入出力データ間の関係を精度よく表すものである。しかしながら、前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法により求められる前記関係関数は、データの少ない領域や、与えられたデータの範囲外の領域についてまでその精度を保証するものではない。また、与えられたデータに外乱やノイズが混入していると、前記関係関数はそれらに対しても適応してしまう。このため、外乱やノイズの状態が変化すると、前記関係関数の精度は大幅に低下してしまう。例えば図5(a)に示すような入出力データが得られているとする。この入出力データには、外乱やノイズが含まれているものの、両者は本来図5(b)に示すような単調増加の関係にある。この入出力データについて前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法により得られるのは、この入出力データに精度良く対応した図5(c)に示すような関係関数である。図5の例では、とりわけ与えられたデータの範囲外の領域で、入出力データ間の関係が実際とは大きくずれることになる。このように、前記公報に係る関係関数探索装置及びその方法は、与えられたデータの質や量に影響され易く、それらが十分でないと、前記関係関数を用いて入力データから出力データを予測しても、予測値と実際の値がその分だけ異なってしまう。ところで、前記入出力データ間の関係について、予め理論的なモデルが知られている場合には、その理論的なモデルを用いて入力データから出力データを予測することも可能である。但し、前記理論的なモデルには、定性的には満足のいくものであっても定量的な精度に劣るものが多く存在する。定量的な精度に劣る理論的なモデルを実際に用いる場合には、パラメータを最適化するだけでは足りず、補正項を追加するなどの改変が必要となる場合がある。改変については多くの選択肢が存在するため、経験などに基づいていずれかを選択することになるが、必要となる精度を安定且つ効率的に得ることは難しい。本発明は、このような従来の技術における

課題を解決するために、関係関数探索装置及びその方法を改良し、入出力データ間の関係を多様な関数により表し、遺伝的アルゴリズムに従って、それら関数のうちから入出力データに最も適応した関数を得る際に、予め与えられた理論的な制約や定性的な制約を考慮することによって、データの質や量に影響され難く精度のよい関数を安定且つ効率的に得ることのできる関係関数探索装置及びその方法を提供することを目的とするものである。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、請求項1に係る発明は、入出力データ間の関係を表す関係関数を記述するための関数要素及びパラメータの一部又は全部に対して、遺伝的操作を行い、前記関係関数から次世代の関係関数を生成する世代進化手段と、前記世代進化手段により生成された前記次世代の関係関数について、前記パラメータの最適値を推定するパラメータ推定手段と、前記パラメータ推定手段により前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数の前記入出力データに対する適応度を評価する評価手段と、前記評価手段により評価された複数の前記次世代の関係関数のうちから、前記適応度に基づいて一部の関係関数を選択する選択手段とを具備してなる関係関数探索装置であって、前記パラメータ推定手段により前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数について、前記関係関数に関して予め与えられた制約に対する満足度を検査する関数制約検査手段を備え、前記選択手段が、前記適応度と前記関数制約検査手段により検査された前記満足度に基づいて、前記関係関数を選択してなる関係関数探索装置として構成されている。また、請求項2に係る発明は、前記請求項1に記載の関係関数探索装置において、前記制約が前記関係関数に関して予め与えられた物理モデルに従う理論的制約であることをその要旨とする。また、請求項3に係る発明は、前記請求項1又は2に記載の関係関数探索装置において、前記関係関数が、前記出力データに対応する変数を、前記入力データに対応する変数と前記関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形結合により表したものであり、前記評価手段が、各関数サブセットに乗せられるパラメータを最適化してなることをその要旨とする。また、請求項4に係る発明は、入出力データ間の関係を表す関係関数を記述するための関数要素及びパラメータの一部又は全部に対して、遺伝的操作を行い、前記関係関数から次世代の関係関数を生成する手順、前記次世代の関係関数について、前記パラメータの最適値を推定する手順、前記パラメータの最適値が推定された前記次世代の関係関数の前記入出力データに対する適応度を評価する手順、複数の前記次世代の関係関数のうちから、前記適応度に基づいて一部の関係関数を選択する手順を繰り返し、最適な関係関数を得るコンピュータを用いた関係関数探索方法であって、前記パラメータの最適値が推定さ

れた前記次世代の関係関数について、前記関係関数に関して予め与えられた制約に対する満足度を検査し、複数の前記次世代の関係関数のうちから一部の関係関数を選択する際に、その選択を前記適応度及び前記満足度に基づいて行う関係関数探索方法である。前記請求項1～4のいずれか1項に記載の関係関数探索装置又はその方法では、入出力データ間の関係を表す関係関数を入出力データに適応するように選択する際に、予め与えられた理論的な制約や経験的に得られた定性的な制約が考慮される。前記関係関数が生成される際には、その多様性は制限されないが、物理特性などに不合理なところがあれば、選択の際にその関係関数は淘汰される。最終的に得られる関係関数は、精度が良く、データの質や量に影響され難い前記制約に従ったものとなる。さらに、前記請求項3に記載の関係関数探索装置では、前記関係関数の前記出力データに対応する変数が、前記入力データに対応する変数と前記関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形結合により表される。前記関数サブセット内にはパラメータは含まれないから、前記評価手段は、前記関数サブセットに乗せられるパラメータに対して非線形関数の最適化問題を解く必要はない。また、前記関係関数の多様性は前記関数サブセットの多様性により確保し得る。このため、前記関係関数の多様性や非線形性を失わせることなく、前記パラメータを最適化するのに要する時間を短縮することができる。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態につき説明する。図1は本発明の実施の形態に係る関係関数探索装置の概略構成とその処理の流れを示す図である。図1に示す通り、本発明の実施の形態に係る関係関数探索装置1'は、例えば入力手段10、処理装置11、出力手段12、記憶手段13からなる情報処理装置2と組み合わせて使用され、関数生成手段3と、世代進化手段4と、関数単純化手段5と、不合理関数検査手段6と、パラメータ推定手段7と、評価手段8と、選択手段9とを具備する点で従来装置と同様である。以下では、従来装置1と共に通する内容については必要がない限りその記載を省略し、関係関数探索装置1'の従来装置1との相違点について説明する。本発明の実施の形態に係る関係関数探索装置1'は、例えば厚板圧延における変形抵抗kと、入側板厚H、出側板厚h、板の絶対温度T、及びワーカロール半径Rとの間の関係を探索するものである。前記関係関数探索装置1'において、関数生成手段3が生成する関係関数の出力データに対応する変数には、変形抵抗kが用いられ、また入力データに対応する変数には、 $\exp(1/T)$ 、 $R/h$ 、 $r$ 、 $H$ の4つの変数が用いられる。各変数に対して前記関係関数を記述する関数要素には、例えば(-1)、( $\sqrt{\cdot}$ )、(ln)、(exp)、(/)、(\*)、(-)、(+)、(1)という9つの関数要素が用いられる。これら関数要素は、予め関数要素ファイル15に

30

40

50

格納される。本発明の実施の形態に係る関数生成手段3は、従来装置の関数生成手段3のように、単に各入力データに対応する変数、前記関数要素、及びパラメータをランダムに配列して前記関係関数を生成しない。

【0008】関数生成手段3が生成する関係関数は、入力データに対応する変数と関数要素とを組み合わせた関\*

$$k=a1*ex1+a2*ex2+a3*ex3+a4*ex4+a5*ex5+a6$$

関数生成手段3は、例えば前記関数サブセットの数と各関数サブセットにおける前記入力データに対応する変数と前記関数要素との組み合わせをランダムに定めて、前記関係関数を複数生成する。前記関数サブセットの数は予め定めておいて、各関数サブセットにおける前記入力データに対応する変数と前記関数要素との組み合わせのみをランダムに定めるようにしてもよい。世代進化手段4は、前記関係サブセットの線形和により表された前記関係関数の構造を変えないように、例えば各関係関数の各関数サブセット内についてのみ、それぞれ交叉、突然変異などの遺伝的操作を行う。もちろん、前記関数サブセットの数を増減する操作を行ったり、各関数サブセット内で関数要素を交叉させたりしても、前記関係関数の構造は変わらない。遺伝的操作を行うためには、前記関係関数の構成要素を記号化することになるが、例えば出力データに対応する変数や関数要素をノードとし、これらをポーランド記法により表現することによって、上式(1)のような数式を記号列に置き換えることができる。関数単純化手段5は、従来装置1のものと同様に、パラメータの数値を考慮しなければ同義となる関数がある場合には、前記関係関数をそれに単純化する。本装置1'では、前記関係関数の構造が前記関数サブセットの線形和に限られているため、代表的な例は、例えば前記関係関数を構成する関数サブセットのうちで同一の関数サブセットが複数存在する場合に、これらを一つの関数サブセットに置き換える操作を行うことである。パラメータ推定手段7は、入出力データファイル1~4からデータ群を読み出して、各変数を定め、各パラメータa1, a2, …の最適値を求める。前記関係関数を前記関数サブセットの線形和により表したのは、この最適化計算の際に負荷を軽減するためである。前記関数要素及びパラメータをランダムに配列して前記関係関数を生成すると、非線形関数のなかに最適化すべきパラメータが含まれてしまうことがある。この場合、パラメータを定めるには、非線形の最適化問題を解かなければならず、パラメータの最適値計算に膨大な時間を要する恐れがある。上述のように前記関係関数を前記関数サブセットの線形和により表しておけば、前記関係関数に非線形性は持たせながらも、パラメータについて線形関数の最適化計算を行うだけよい。また、前記関係関数の多様性は各関数サブセットの多様性により確保される。その結果、前記関係関数の多様性や非線形性を失わせることなく、パラメータの最適値計算に要する時間が著しく増大すること

\* 数サブセットの線形和によって記述される。例えば前記関係関数が5つの前記関数サブセットex1, ex2, …, ex5の線形和によって記述されるとすると、パラメータがa1, a2, …, a6により表されるとき、関数生成手段3が生成する関係関数は、次式(1)の通りとなる。

$$(1)$$

とを防止することができる。

【0009】関数制約検査手段23は、このようにパラメータの数値が定められた各関係関数が、前記関係関数に対して予め与えられた制約を満足しているか否かを検査する。本実施の形態に係る前記制約は、例えば変形抵抗kに関する次式の物理モデルに基づく理論的制約である。変形抵抗kは、入側板厚H、出側板厚h、板の絶対温度Tを用いて、次式の通りに表し得ることが知られている。

$$k=\exp(A1/(T+273)+A2*(\ln(H/h))^{1/3}*h^{1/4})$$

但し、A1, A2, A3, A4は係数である。前記変形抵抗kに関する物理モデルから、使用する温度データの帯域での変形抵抗kと歪み $\epsilon=\ln(H/h)$ について、例えば「歪みの変化に対して変形抵抗の変化が上に凸、又は、歪みが大きくなるにつれて変形抵抗の変化率が小さくなる」という理論的な制約が定められる。この理論的な制約が強すぎると、前記関係関数を物理モデルに制限してしまう。理論的に不合理な関係関数を除き得る程度の最低限の制約を与えることが好ましい。前記理論的な制約は、理論的制約ファイル24に格納され、必要時に関数制約検査手段23により読み出される。関数制約検査手段23は、例えば各関係関数の変数のうち入側板厚H、板の絶対温度T、ロール半径Rを一定値に固定しておき、出側板厚hを上限値から下限値まで所定の刻み幅で変化させ、各関係関数が上述したような理論的な制約を満足しているか否かを検査する。前記関係関数が理論的な制約を満足していない場合には、例えば評価手段8が評価する適応度を減少させるような一定のペナルティーが、関数制約検査手段23により当該関係関数に対応付けられる。一方、前記関係関数が理論的な制約を満足している場合には、前記ペナルティーは課されない、即ちペナルティ0が対応づけられる。前記ペナルティーが本発明における満足度の一例である。前記ペナルティーと前記満足度は大小関係が一致しないが、前記満足度は前記理論的な制約を満足する関係関数の評価を前記理論的な制約を満足しない関係関数に対して相対的に上昇させるものであればよい。例えば前記理論的な制約を満足する前記関係関数のみ、その適応度を一定量増加させるようにしてもよい。また、これらの場合、前記理論的な制約を満足するか否かに応じて、前記満足度は2つの異なる値をとることになるが、例えば複数の理論的な制約を課しておき、満足する制約の数に応じて多値の前記満足度を定めるようにしてもよい。前記ペナルティーが

対応付けられた関係関数については、評価手段8により求められた前記評価度が、そのペナルティ一分だけ減少させられる。選択手段9は、ペナルティ一分が付加された前記関係関数の適応度に基づいて、例えば前記適応度が高いものから順に一定数の関係関数を選択する。このため、前記理論的な制約を満足しない前記関係関数は、淘汰される可能性が大きくなる。選択手段9により選択された前記関係関数のみが、世代進化手段4により読み出され、以降世代進化手段4により処理から選択手段9による処理までの一連の処理が繰り返される。この繰り返し<sup>10</sup>

\*返しは、前記関係関数の適応度が一定値以上になったときに終了させてもよいし、予め定めた回数になったときに終了させてもよい。繰り返し回数や、前記関係関数を生成するときの前記関係関数の数、前記遺伝的操作の確率などは、例えば前記入出力データを入力する際に設定するようにすればよい。

【0010】このような処理を繰り返すことにより最終的に得られた前記関係関数は、例えば次式(2)の通りになった。

【数1】

$$k = a1*ex1 + a2*ex2 + a3*ex3 + a4*ex4 + a5*ex5 + a6$$

$$ex1 = \ln\left(\exp\left(\exp\left(\frac{1}{T}\right)\right) - r\right)$$

$$ex2 = \ln\left(\frac{H}{\sqrt{\exp\left(\frac{1}{T}\right)}}\right)$$

$$ex3 = \ln\left(\ln\left(\sqrt[4]{\exp\left(\frac{1}{T}\right)}\right)\right)$$

$$ex4 = \ln\left(\ln\left(\frac{\exp\left(\frac{1}{T}\right)}{r}\right) - r + 1\right)$$

$$ex5 = \ln\left(\ln\left(\frac{H+r}{\exp\left(\frac{1}{T}\right)}\right)\right)$$

} (2)

一方、同じ入出力データ、関数要素について従来装置1により探索された前記関係関数は、次式(3)の通りと※なった。

【数2】

$$k = a1*ex1 + a2*ex2 + a3*ex3 + a4*ex4 + a5*ex5 + a6$$

$$ex1 = \ln\left(\sqrt{\ln\left(\exp(H-1) + \exp\left(\frac{1}{T}\right)\right)}\right)$$

$$ex2 = \frac{1}{T}$$

$$ex3 = \ln\left(\frac{H \cdot R}{h} + 1 + H - r\right)$$

$$ex4 = \ln(1 - r)$$

$$ex5 = \ln(r)$$

} (3)

ここで、上式(1)により表された理論モデルを用いた場合(P1)、従来装置1による場合(P2)、本装置1'による場合(P3)の真値/予測値の標準偏差(精度)の大小を比較して図2に示す。図2に示す通り、従来装置1による場合(P2)、及び本装置1'による場

合(P3)と較べて、理論モデルによる場合(P1)は精度が悪い。従来装置1による場合(P2)と本装置1'による場合(P3)とでは、本装置1'による場合(P3)の方が精度はよいが、理論モデルによる場合(P1)と較べてその差は小さい。ただし、従来装置1

により前記関係関数を定めた場合、前記関係関数を求めるのに用いた入出力データと異なる帯域のデータを用いて、入力データから出力データを予測すると、その予測は実際の値と大きく異なってしまう。図3に示す例では、圧下率  $r = (H - h) / H$  が 0.1 ~ 0.4 にあるときは、従来装置1により計算された変形抵抗  $k$  も現実的な値であるが、圧下率  $r$  が 0.5 になると、著しく高い非現実的な値になる。一方、本装置1'により計算された変形抵抗  $k$  は、圧下率  $r$  が 0.5 になっても、実現象に則した値となっている。

【0011】このように、本発明の実施の形態に係る関係関数探索装置及びその方法によれば、入出力データ間の関係を表す関係関数を入出力データに適応するように選択する際に、理論的な制約を満足するか否かが判断され、それに応じて前記関係関数の適応度が変更されるため、データの質や量に影響され難い理論的な制約に従った精度の良い関係関数を安定且つ効率的に得ることが可能となる。しかも、前記関係関数の前記出力データに対応する変数が、前記入力データに対応する変数と前記関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形結合により表されるため、パラメータの同定に際し非線形関数の最適化計算を行う必要がなく、また前記関係関数の多様性は前記関数サブセットの多様性により確保されるから、前記関係関数の多様性や非線形性を失わせることなく、前記パラメータを最適化するのに要する時間を短縮することができる。尚、前記実施の形態では、前記関係関数探索装置1' と情報処理装置2とを別個のハードウェアにより構成したが、これに限られるものではなく、前記関係関数探索装置1' と情報処理装置2とを同一のハードウェアにより構成するようにしてもよい。さらに、本発明に係る関係関数探索方法の手順を記述したプログラムを実行したコンピュータによって、本発明に係る関係関数探索装置を具現化するようにしてもよい。また、前記実施の形態では、関数制約検査手段23により検査された満足度が前記適応度の値を変更するものであったが、これに限られるものではなく、評価手段8により評価された前記適応度は変更せずに、選択手段9が、互いに独立した前記満足度と前記適応度とに基づいて前記関係関数を選択するようにしてもよい。さらに、前記実施の形態では、関数制約検査手段23により検査を行った後、評価手段8により評価を行ったが、この順に限られるものではなく、パラメータ推定手段7によりパラメータが推定されてから、選択手段9により前記関係関数の選択が行われるまでに、前記理論的な制約に対する前記関係関数の検査を行うようにすればよい。また、前記実施の形態では、前記遺伝的操作として、交叉や突然変異を用いたが、これに限られるものではなく、他の遺伝的操作を用いるようにしてもよい。突然変異の一種に、兄弟交換があるが、このような遺伝的操作を行うようにしてもよい。また、前記実施の形態では、関数生成

手段3は、入力データに対応する変数と関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形和により表した関係関数を生成していたが、これに限られるものではなく、例えば従来装置1と同様に、変数、前記関数要素、及びパラメータをランダムに配列して前記関係関数を生成するようにもよい。この場合、前記実施の形態の構成よりも、パラメータの最適化計算の際に演算時間が増加する恐れがあるが、これを防止するために、パラメータの最適化計算の前に、不合理関数計算手段6に入力データに対応する変数と関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形和により表した関係関数以外の関係関数を排除させるなどしてもよい。また、前記実施の形態では、関数制約検査手段23において、厚板圧延における変形抵抗に関して予め与えられた理論的な制約を課したが、これに限られるものではなく、経験的に得られた定性的な制約を課してもよいし、対象とする事象も厚板圧延における物理的な事象だけでなく他の物理的な事象や化学的な事象、さらには経済的な事象などについても本発明を適用することは可能である。

## 20 【0012】

【発明の効果】以上説明した通り、前記請求項1～4のいずれか1項に記載の関係関数探索装置又はその方法では、入出力データ間の関係を表す関係関数を入出力データに適応するように選択する際に、予め与えられた制約を満足するか否かが判断され、それに応じて前記関係関数が取捨選択されるため、データの質や量に影響され難い前記制約に従った精度の良い関係関数を安定且つ効率的に得ることが可能となる。しかも、前記請求項3に記載の関係関数探索装置では、前記関係関数の前記出力データに対応する変数が、前記入力データに対応する変数と前記関数要素とを組み合わせた関数サブセットの線形結合により表されるため、パラメータの同定に際し非線形関数の最適化計算を行う必要がなく、また前記関係関数の多様性は前記関数サブセットの多様性により確保されるから、前記関係関数の多様性や非線形性を失わせることなく、前記パラメータを最適化するのに要する時間を短縮することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係る関係関数探索装置の概略構成及びその処理の流れを示す図。

【図2】 従来装置と本装置の精度を比較して示す図。

【図3】 従来装置と本装置の予測値を比較して示す図。

【図4】 従来の関係関数探索装置の概略構成例及びその処理の流れを示す図。

【図5】 従来の関係関数探索装置及びその方法の問題点を説明するための図。

## 【符号の説明】

4…世代進化手段

7…パラメータ推定手段

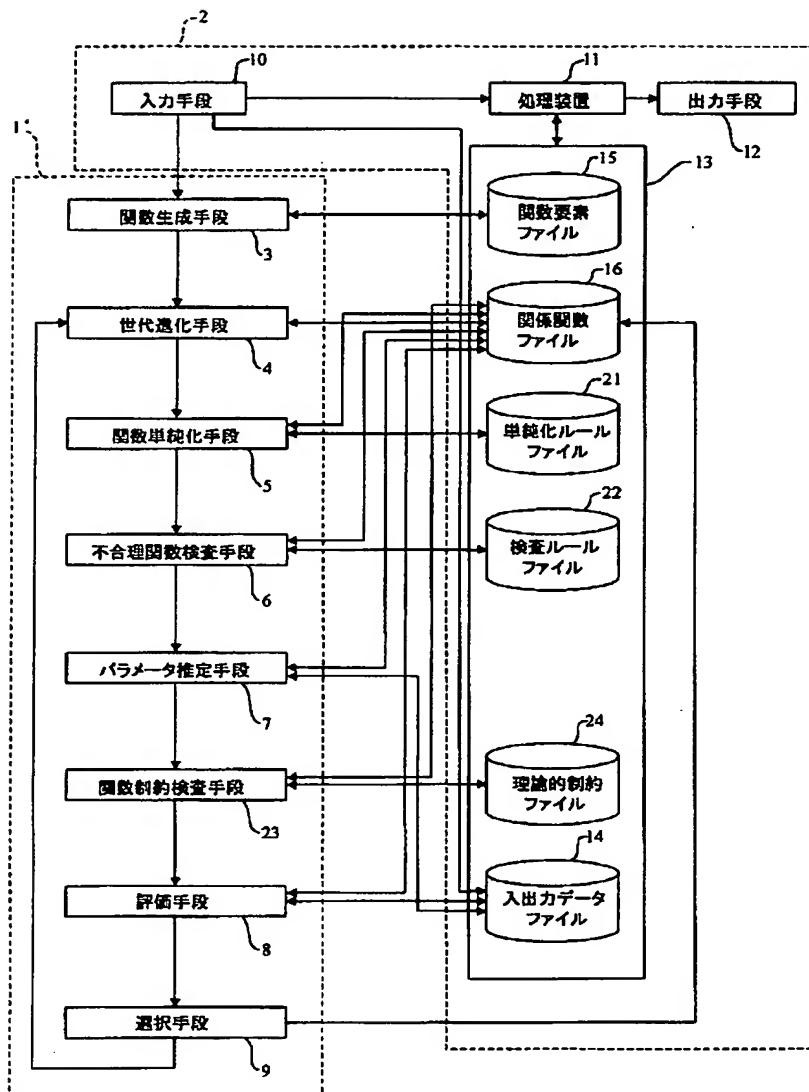
8…評価手段

9…選択手段

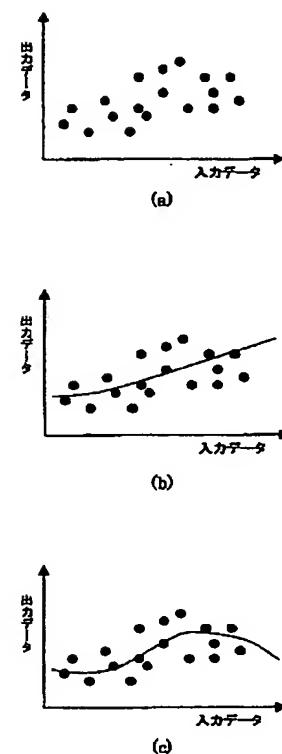
\* 23…関数制約検査手段

\*

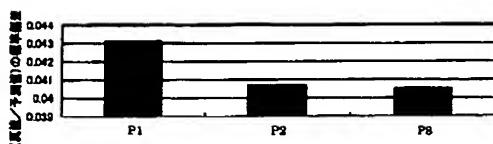
【図1】



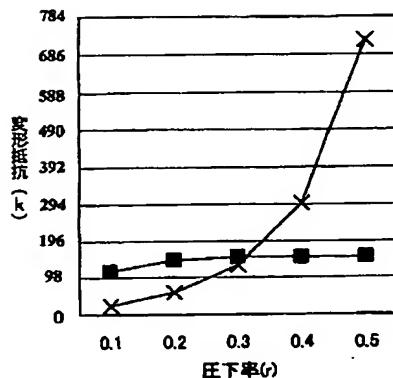
【図5】



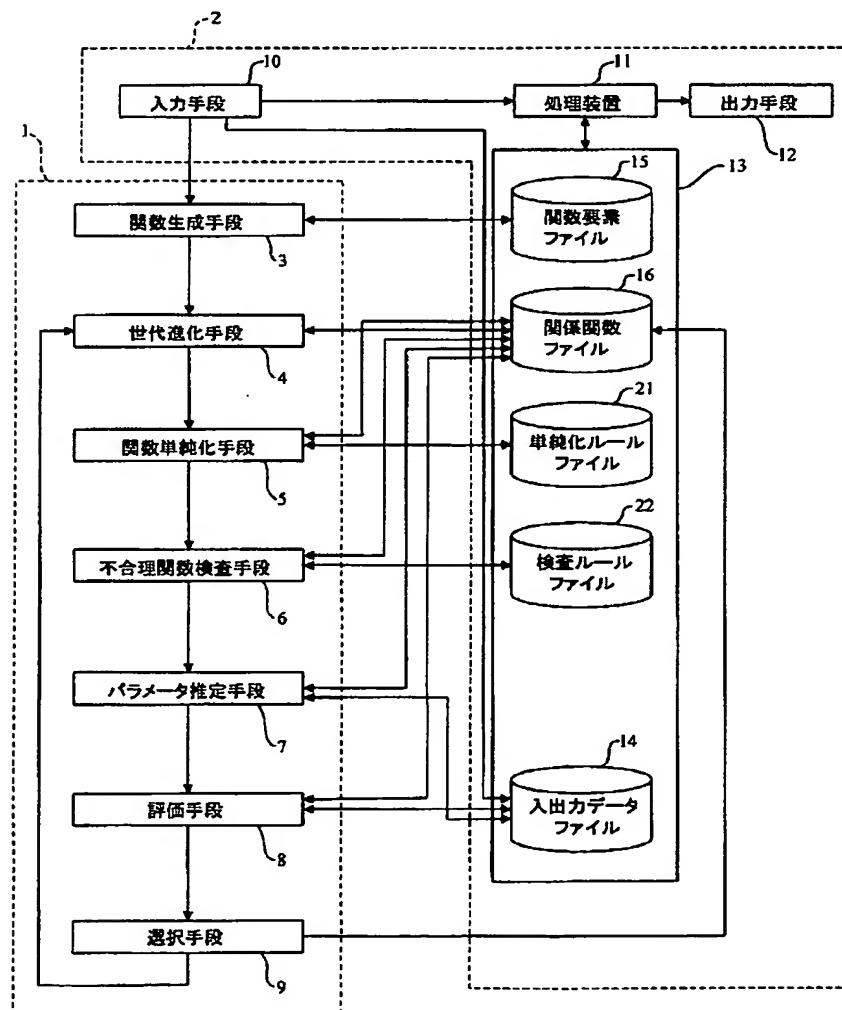
【図2】



【図3】



【図4】



## フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 俊彦  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号  
株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 北村 章  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号  
株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 大江 憲一  
兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神  
戸製鋼所加古川製鉄所内

(72)発明者 森本 賢夫  
兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神  
戸製鋼所加古川製鉄所内

(72)発明者 藤本 雅夫  
兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神  
戸製鋼所加古川製鉄所内

F ターム(参考) 5H004 GA18 GB03 KC02 KC09 KC28  
KC35 KD67 LA11  
9A001 FF08 GZ01 GZ06



#### COMMENTS FOR IDS MATERIALS

##### 1. Japanese Patent Application Laid-open No. 2001-236338

This reference discloses a relation-function searching device to create an optimized relation-function. A relation-function is created as a liner sum of function-subsets, which is a set of a parameter and a function element. The parameters correspond to input data. Based on the created relation-functions, an optimized relation-function is obtained based on the method disclosed in JP-A- H0944466 with consideration given to theoretical limitations.

##### 2. Japanese Patent Application Laid-open No. H09-044466

This reference discloses a relation-function searching device to create an optimized relation function. Relation-function candidates are created as a liner array of function elements, variables, and parameters. Based on the relation-function candidates, an optimized relation-function is obtained by improvement by a genetic algorithm, a simplification, selection illogical relation-function candidates, and an evaluation. The function elements are picked up from a function elements file.

##### 3. Japanese Patent Application Laid-open No.2000-250603

This reference discloses an optimization method including a basic control module and a correction control module. The basic control module determines control output for a control object based on predetermined input information. The correction control module determines a correction amount to the output of the basic control module. The correction control

module is optimized by using an optimization method and evaluation of a user. A lot of optimization methods for the optimization of correction control module are disclosed.

4. Japanese Patent Application Laid-open No.2000-315108

This reference discloses a control system comprising modularized programs.